

19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 off nl gungsschr
10 DE 197 27 226 A 1

51 Int. Cl.⁶:
G 02 C 13/00
G 01 B 11/24
G 01 B 11/03
B 24 B 9/14

21 Aktenzeichen: 197 27 226.6
22 Anmeldetag: 26. 6. 97
43 Offenlegungstag: 22. 10. 98

Wo 98/45664 (unpagiert)
(15.10.98)

DE 197 27 226 A 1

66 Innere Priorität:

197 14 929. 4 10. 04. 97
197 25 158. 7 13. 06. 97

71 Anmelder:

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung e.V., 80636 München, DE

74 Vertreter:

München . Rösler Anwaltskanzlei, 80689 München

72 Erfinder:

Berndt, Dirk, Dipl.-Ing., 39128 Magdeburg, DE;
Steinmann, Christian, Dipl.-Ing., 39108 Magdeburg,
DE

56 Entgegenhaltungen:

DE 42 24 640 C2
DE 93 17 381 U1

Handbuch der industriellen Meßtechnik, Hrsg.
P. Profos und T. Pfeifer, München, R. Oldenbourg
Verlag, 5. Aufl., 1992, S. 448-452;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Meßanordnung und Verfahren zum berührungslosen Erfassen der 3-dimensionalen Raumform einer Brillenfassungsnut

- 57 Beschrieben wird eine Meßanordnung zum berührungslosen Erfassen der 3-dimensionalen Raumform einer, in einer Brillenfassung umlaufenden Nut mit einer Lichtquelle, deren Lichtstrahl auf die Nut gerichtet ist oder auf diese mittels eines optischen Umlenksystems ablenkbar ist, einem optischen Abbildungssystem, das das an der Nut reflektierte Licht auf eine optische Detektoreinheit abbildet und zentrisch zu der zu vermessenden Nut der Brillenfassung angeordnet ist, einer die Brillenfassung tragenden Haltevorrichtung, die relativ zu der Lichtquelle, der Detektoranordnung sowie dem optischen Abbildungssystem um eine Zentrierachse einer, von der umlaufenden Nut der Brillenfassung einbeschriebenen Fläche drehbar gelagert ist sowie einer Auswerteeinheit zur Ermittlung der 3-dimensionalen Raumform der Nut, die nach dem Triangulationsprinzip arbeitet. Ferner wird ein Verfahren hierzu angegeben.

Kalibrierung

DE 197 27 226 A 1

Beschreibung

Die Erfindung b zieht sich auf eine Meßanordnung sowie Verfahren zum berührungslosen Erfassen der 3-dimensionalen Raumform einer, in einer Brillenfassung umlaufenden Nut.

In der Augenoptik werden heute zum größten Teil Meßvorrichtungen mit taktilen Meßtastern zum Vermessen des räumlichen Fassungsnutverlaufes eingesetzt. So ist es aus der DE-PS 41 31 331 eine Testvorrichtung zum Abtasten der Kontur von Brillengestellöffnungen oder von Schablonen für das Umfangschleifen von Brillengläsern vorbekannt. Die Testvorrichtung gemäß DE-PS 41 31 331 besteht aus einer Halterung für das Brillengestell oder die Schablone, einem mit einem Tastkopf in die Nut der Brillengestellöffnung eingreifenden oder an den Umfang der Schablone anlegbaren Taststift, weiterhin aus einer nur in x- und y-Richtung parallel zu der Ebene der Brillengestellöffnung oder der Schablone beweglichen, eine Drehung verhindernde Geradföhrung für den Taststift und schließlich einem Weggeber für die x-Richtung sowie einem Weggeber für die y-Richtung.

Die in der DE-PS 41 31 331 beschriebene liefert jedoch nur eine angenäherte Raumkurve der Fassungsnut, da das Abtasten durch körperliche Berührung mit dem beispielsweise als Stift oder Kugel ausgeführten formstarrten Tastkörper entlang der Fassungsnut erfolgt. Die auf diese Weise aufgezeichnete Raumkurve des Fassungsnutverlaufes wird z. B. über den Verlauf eines definierten Testkörperpunktes festgelegt. Die korrekte Abbildung aller Feinheiten der eigentlichen kann dabei nicht erfaßt werden und die der Nut zugehörige komplementäre Glasfacette kann somit auch nur annäherungsweise korrekt zugeschliessen bzw. erzeugt werden. Formabweichungen zwischen dem exakten Verlauf der Fassungsnut und der Glasfacette des Brillenglases rufen jedoch Spannungen in dem Brillenglas hervor, die leicht zu einem Sprung oder Bruch des Glases föhren können. Der Gegenstand der DE-PS 41 31 331 weist überdies den Nachteil auf, daß die Tastvorrichtung zum Abtasten der Kontur durch unmittelbaren mechanischen Kontakt eine Halterung für die Brillenfassung voraussetzt die die Fassung gegen die Kraftbeaufschlagung durch die Tastvorrichtung einspannt. Hierdurch kann die Spannvorrichtung selbst als auch der Taststift das Brillenfassungsbauteil verformen, wodurch es zu einer weiteren Ungenauigkeit in der Messung kommt. Darüber hinaus haben die taktilen Meßvorrichtungen den Nachteil, daß sie nur für die Erfassung des groben Fassungsnutverlaufes konzipiert worden sind und Daten über die gesamte dreidimensionale Geometrie sowohl des Fassungsbauteiles selbst wie auch der weiteren Bestandteile einer Brillenfassung nicht liefern können.

Auch werden Abtastvorrichtungen der vorstehend beschriebenen Gattung als Tracer bezeichnet, deren Meßzeiten zum Erfassen des Nutverlaufes in einer Brillenfassung ca. 12 s betragen. Hierbei werden üblicherweise 512 Formdaten aufgenommen und zur Weiterverarbeitung gespeichert. Die Meßgenauigkeit beträgt ca. 0,01 mm. Problematisch ist die korrekte Aufnahme der Brillenform. Die bisher entwickelten Geräte sind nicht in der Lage das gesamte Spektrum von Brillenformen erfassen zu können. "Extreme" Radien bzw. sehr große 3D-Formen können nicht vermessen werden. Zwar ist die Meßgenauigkeit für die bisherigen Glasschleifgeräte ausreichend, doch werden künftig zum Anpassen der Gläser Fräser verwendet, die wesentlich genauer angesteuert werden können. Voraussetzung hierfür ist jedoch eine präzisere Vermessung der Brillenformen.

Weitere Beispiele für Brillenfassung-Abtastvorrichtungen der vorstehend genannten Gattung sind auch den Druckschriften DE 41 07 894 A1, DE 41 28 571 A1 sowie EP 0 344 725 zu entnehmen.

In der DE-OS 40 19 866 ist eine Vorrichtung zum Abtasten und Speichern von Daten einer Öffnung eines Brillengestells oder einer Schablone beschrieben, mit einem das Brillengestell oder die Schablone tragenden Rahmen, einer die Brillengestellöffnung oder die Schablone berührungslos abtastenden Abtastvorrichtung und einem Winkelmeßwertgeber, der die Drehwinkel der Abtaststellungen der Brillenöffnung oder der Schablone erfaßt.

Die Abtastvorrichtung besteht aus mindestens einem Video-Scanner-System, das unter einem Winkel von $0^\circ < \alpha < 90^\circ$ zur Achse der Brillengestellöffnung oder der Schablone angeordnet ist und um diese Achse als Rotationsachse zusammen mit der Auswerteelektronik und dem Winkelmeßwertgeber drehbar ist. Das Video-Scanner-System ist zudem relativ zur Rotationsachse schwenkbar angeordnet. Der Schwenkmittelpunkt für die Rotationsachse liegt in der Ebene der Brillengestellöffnung oder der Schablone.

Beim Gegenstand der DE-OS 40 19 866 werden die mit dem Video-Scanner System ermittelten Daten durch eine Auswerteelektronik in eine Raumkurve der Brillenfassungsöffnung oder der Schablone und/oder der eventuell erforderlichen Glasfacette umgerechnet und zur Steuerung eines Brillenrandschleifautomaten gespeichert.

Mit der in der DE-OS 40 19 866 beschriebenen Vorrichtung läßt sich jedoch die dreidimensionale Raumform insbesondere der Fassungsnutform und des Fassungsnutverlaufes nicht exakt erfassen. Dies liegt u. a. daran, daß die Nutwände in einem Winkel zueinander stehen, so daß Abschattungseffekte bei der optischen Abtastung der Nutwände durch das in einem Winkel zur senkrechten Achse durch die Brillenöffnung angeordneten Video-Scanner-System auftreten.

Ein weiterer Nachteil der vorbeschriebenen Anordnung ist der komplizierte, technisch sehr aufwendige Aufbau, der mit hohen Kosten verbunden ist sowie zum Betrieb komplizierte Steuer- und Auswerteprogramme erfordert.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde eine Meßanordnung sowie ein Verfahren zum berührungslosen Erfassen der 3-dimensionalen Raumform einer, in einer Brillenfassung umlaufenden Nut derart anzugeben, daß die Innenkontur der Nut einer Brillenfassung exakt ermittelt werden kann, ohne die beim Stand der Technik aufgezeigten Nachteile aufzuweisen. Die Meßanordnung soll technisch möglichst einfach und kostensparend ausgestaltet sein. Das Verfahren soll einen exakten Datensatz über die räumliche Beschaffenheit der Nut liefern.

Erfindungsgemäß weist die Meßanordnung eine Lichtquelle auf, deren Lichtstrahl auf die Nut gerichtet ist oder auf diese mittels eines optischen Umlenkensystems ablenkbar ist. Der Lichtstrahl entstammt vorzugsweise einem Laser oder einer anderen strahlungsintensiven Lichtquelle, beispielsweise einer Bogenlampe, und ist zu einem linienförmigen Strahlungsfeld aufgeweitet. Ein optisches Abbildungssystem, bildet das an der Nut reflektierte Licht auf eine optische Detektoreinheit ab und ist weitgehend zentrisch zu der zu vermessenden Nut der Brillenfassung angeordnet. Ferner ist eine die Brillenfassung tragende Haltevorrichtung vorgesehen, die relativ zu der Lichtquelle, der Detektoranordnung sowie dem optischen Abbildungssystem um eine Zentrierachse einer, von der umlaufenden Nut der Brillenfassung eingeschriebenen Fläche drehbar gelagert ist. Mittels einer Auswerteeinheit, die nach dem Lichtschnittverfahren arbeitet, wird

ausgebildet sind. Hierzu muß j die reflektierende Fläche des Abbildungssystems genügend groß sein, so daß sowohl der Lichtstrahl 6 als auch das reflektierte Abbild der Nut von dem Abbildungssystem erfaßt und entsprechend umgelenkt werden kann. Besonders geeignet sind hochreflektierende Flächen oder 90°-Umlenkprismen.

In der beschriebenen Vorrichtung wird wie bereits erwähnt Laserlicht zur Projektion genutzt. Die Verwendung von Laserlicht hat wesentliche Vorteile, so z. B. eine höhere Lichtleistungsdichte, eine bessere Fokussierbarkeit sowie die Möglichkeit der Ausblendung des Umgebungslichtes durch einen Interferenzfilter.

Die optisch n Umlenk- bzw. Abbildungssysteme sind kinematisch von der sich drehenden Haltevorrichtung abgekoppelt und befinden sich in Ruhe. Auf diese Weise ist gewährleistet, daß die sich relativ zum Strahlengang drehende Nut der Brillenfassung vollständig beleuchtet wird.

Der Lichtstrahl 6 ist linienförmig ausgebildet und weist zur Erhöhung der Beleuchtungsstärke und damit verbunden zur Erhöhung der Bildauflösung eine möglichst geringe Strahldivergenz auf. Da insbesondere moderne Brillenfassungen eine beträchtliche Durchbiegung senkrecht zur Ebene der durch die umlaufende Brillennut einbeschriebenen Fläche aufweisen, ist zusätzlich dafür Sorge zu tragen, daß der Lichtstrahl dem vertikalen Durchbiegung der Brillenfassung folgt. Hierfür ist ein nicht in der Fig. 1a dargestellter Sensor vorzusehen, der den Verlauf der Brillenfassung erfaßt und den Lichtstrahl entsprechend nachfährt. Dies erfolgt am einfachsten über eine motorische Ansteuerung des Umlenksystems.

In einer ebenso nicht in der Fig. 1a dargestellten Auswerteeinheit erfolgt die Auswertung der von der Detektoreinheit aufgenommenen Abbilder der einzelnen Schnittaufnahmen der Brillenfassungs-nut. Beispiele für Abbilder einer Nut sind in den Fig. 3a und 3b dargestellt. In Fig. 3a ist ein Schnittbild durch eine Metallfassung, in Fig. 3b ein Schnittbild durch eine Brillenfassung aus Kunststoff abgebildet. Der jeweils eingerandete Bereich soll den auswertbaren Schnittbereich für jede einzelne Schnittbildaufnahme darstellen.

Nachfolgend wird das Schnittbild bzw. die Schnittlinie zwischen Brillenfassung und Licht- bzw. Laserebene als Konturschnittlinie bezeichnet. Die dargestellten Meßaufnahmen von Brillen aus Metall und Kunststoff haben gezeigt, daß eine differenzierte Bildauswertung notwendig ist, aufgrund der unterschiedlichen Reflexionseigenschaften der verschiedenen technischen Oberflächen.

Die Konturschnittlinienform ist jedoch prinzipiell bei beiden Materialien gleich, wie es aus den Fig. 3a und 3b hervorgeht, aus denen die Nutkontur andeutungsweise zu erkennen ist (siehe jeweils die Pfeile).

Zur Verdeutlichung der Reflexionsereignisse auf der Nutoberfläche sollen die nachfolgenden Fig. 4a-d dienen.

Fig. 4a zeigt ein Objekt mit spiegelnder Oberfläche. Der einfallende Lichtstrahl wird gerichtet reflektiert. Die Reflexionsrichtung hängt von der relativen Orientierung des Lichtes zur Oberfläche ab. Die Detektion des Lichtes ist problematisch, da der Lichtstrahl die Apertur der Meßkamera nur in einem sehr kleinen Meßbereich trifft. Fig. 4b zeigt den Idealfall, eine gleichförmige Streuung des Lichtes. Die Strahlleistung wird in alle Raumrichtungen gleichmäßig gestreut. Fig. 4c zeigt den für die Messung auf metallischen Oberflächen relevanten Fall, einer in die gedachte Reflexionsrichtung ausgerichtete Strahlkeule. Die Winkelhalbwertsbreite dieser Strahlkeule ist von der Oberflächenstruktur des Objekts abhängig. Je rauer eine Oberfläche ist desto breiter wird die Strahlkeule. In Fig. 4d dringt der Lichtstrahl in das Material ein. Dieser Fall tritt bei Kunststoffmaterialien auf. Das Licht wird im Bereich der Eindringtiefe gestreut. Eine Auswertung ist möglich, wie Fig. 3b zeigt.

Nach jeder Aufnahme des jeweiligen Meßbildes müssen die Konturpunkte je nach Material für die Weiterverarbeitung vorbereitet werden. Für die verschiedenen Materialien wird das Meßfenster zeilenweise nach Intensitäts-Flanken durchsucht. Werden in einer Zeile genau zwei Flanken $Fl_1(z)$ und $Fl_2(z)$ gefunden, so wird $F_M(z)$ gebildet und zur Weiterverarbeitung gespeichert.

$$F_M = \frac{k_{M1} Fl_1(z) + k_{M2} Fl_2(z)}{2}$$

Für metallisch reflektierende Materialien betragen die Faktoren $k_{M1} \approx 1$ und $k_{M2} \approx 1$. Bei Kunststoffoberflächen werden ebenfalls zwei Flanken pro Bildzeile gesucht. Allerdings betragen die Faktoren $k_{M1} \approx 2$ und $k_{M2} \approx 0$. Die exakten Werte für k_{M1} und k_{M2} sind materialspezifisch, vom Reflexions- und Absorptionsgrad des Brillengestells abhängig. Sie können zur Erhöhung der Meßgenauigkeit empirisch ermittelt werden. Erst durch diese differenzierte Verarbeitung der verschiedenen Materialien kann eine robuste Vermessung realisiert werden. Diese Art der Verarbeitung stellt ebenfalls eine Verbesserung gegenüber herkömmlichen Verarbeitungsalgorithmen dar.

Die abgespeicherten Informationen ergeben ein Binärbild. Aus diesem Bild muß im nächsten Schritt die vollständige Schnittkontur extrahiert werden.

Die nachfolgenden Betrachtungen gehen von der Voraussetzung aus, daß die Brillenfassungs-nut einer V-Form ähnelt bzw. durch eine Polynomfunktion 4. Grades beschreibbar ist. Dies ist in Fig. 5 dargestellt. Die Brillenfassung 4 wird mit dem obenbeschriebenen Lichtschnittverfahren für eine Meßaufnahme entlang des Schnittes A-A beleuchtet. Die Nut 8, die in der Figur in Querschnittsdarstellung gezeigt ist, weist idealisiert einen V-förmigen Querschnitt auf, der durch die Punkte P_1 , P_2 und P_3 beschreibbar ist. P_1 und P_3 kennzeichnen die Nutkanten und P_2 definiert den Nutboden. Die V-Nut weist im gezeigten Beispiel einen Öffnungswinkel von typischerweise 120° auf.

Es hat sich gezeigt, daß zur vollständigen Beschreibung der Konturschnittlinie im wesentlichen nur 3 Meßpunkte benötigt werden. Zur Meßpunktextraktion werden aus den Punkte P_1 , P_2 , P_3 eine Polynomfunktion vierten Grades regressiert. Die Schnittkontur kann durch ein Polynom 4. Grades optimal nachgebildet werden.

$$p_i = a_0 + a_1 x_i + a_2 x_i^2 + a_3 x_i^3 + a_4 x_i^4$$

Unter Zugrundelegen der Gaußmethode der kleinsten Fehlerquadrate kann unter Verwendung der drei vorstehend beschriebenen Extremwerte eine Polynomfunktion regressiert werden, die dem tatsächlich gemessenen Meßprofil sehr gut entspricht. In Fig. 6 ist ein berechneter Polynomzug (durchgezogene Linie) über ein gemessenes Profil (gepunktete Li-

nie) gelegt. Die Abszisse gibt die Spalten, die Ordinate die Spaltenzahlen an.

Die Regression wird vorzugsweise in vier Iterationsschritten durchgeführt. Während der 1. Iteration wird über alle gefundenen Konturpunkte regressiert. Deutlich treten gestörte Konturpunkte auf, die durch auftretende Reflexionen bedingt sind und entfernt werden müssen, um eine genau Regression vornehmen zu können. Im 2. Iterationsschritt wird über die restlichen Meßwerte regressiert. 4 Iterationen sind notwendig um eine stabile Regression zu erhalten.

Um die beabsichtigten 3-dimensionale Raumform der Brillenfassungsnut ermitteln zu können, muß der Meßaufbau und insbesondere die Lichtquelle und Detektoreinheit selber kalibriert werden. Die relative Lage der CCD-Kamera und des Lasers wird durch Kalibrierparameter beschrieben. Anhand der bekannten Parameter können dann 3D-Meßobjekt-kordinaten durch eine Transformation der extrahierten 2D-Bildkoordinaten berechnet werden. Zusätzlich müssen, um Messungen mit erhöhter Genauigkeit vornehmen zu können, auch mögliche Abweichungen des Sensors und des Meßaufbaus von einem Idealzustand bestimmt werden.

Die Transformation von Sensorkoordinaten in Weltkoordinaten ist nicht eindeutig, da erst durch die Nutzung der Laserebene für jeden auf dem Sensor der CCD-Matrixkamera abgebildeten Punkt die Weltkoordinaten berechnet werden können. Die Transformation der geräteabhängigen Bildkoordinaten in Weltkoordinaten umfaßt folgende Schritte:

1. Berechnung der verzerrten Bildkoordinaten
2. Berechnung der unverzerrten Bildkoordinaten
3. Berechnung zweier Punkte $P_1(x_{w1}, y_{w1}, z_{w1})$ und $P_2(x_{w2}, y_{w2}, z_{w2})$, die auf dem Abbildungsstrahl, des Bildpunktes liegen durch die Vorgabe zweier beliebiger z_w -Werte.
4. Berechnung des Schnittpunktes der Laserebene mit dem Abbildungsstrahl.

Schließlich stellt der Schnittpunkt zwischen Laserebene und Abbildungsstrahl den gesuchten Konturpunkt im Weltkoordinatensystem dar.

Zur Durchführung der nachstehenden Transformation sind folgende spezifische Parameter der Meßkamera während der Kamerakalibrierung zu ermitteln.

(c_x, c_y) Ursprung des Bildkoordinatensystems

$$d'_x = d_x \frac{N_x}{N_f} \quad \text{Abstand benachbarter Pixel in einer Bildzeile}$$

Abstand benachbarter Pixel in einer Bildzeile

d_x Abstand benachbarter Sensorelemente in x-Richtung

d_y Abstand benachbarter Sensorelemente in y-Richtung

N_x Anzahl der Sensorelemente in x-Richtung

N_f Anzahl der Pixel in einer Bildzeile.

Ausgehend von den im Bildkoordinatensystem der Sensorebene der Detektoreinheit extrahierten Koordinaten (x_f, y_f) , die Extremwerten, bspw. P_1 , entsprechen, werden sogenannte "verzerrte" Bildkoordinaten x_d und y_d berechnet.

$$x_d = \frac{(x_f - c_x) \cdot d'_x}{s_x}, \quad y_d = (y_f - c_y) \cdot d_y$$

"Verzerrt" bedeutet im vorstehenden Sinn, daß der Sensor durch falsche Chipgeometrie von einem idealen Model abweicht. Diese Abweichungen werden durch eine Kalibrierung geeignet beschrieben und reduziert und führt zu den "unverzerrten" Koordinaten (x_u, y_u) :

$$x_u = x_d(1 + \kappa_1(x_d^2 + y_d^2)), \quad y_u = y_d(1 + \kappa_1(x_d^2 + y_d^2))$$

Durch die erfolgte Kalibrierung kann eine Rotationsmatrix R sowie ein Translationsvektor T berechnet werden. Durch R und T ist die räumliche Lage der Detektoreinheit in einem Weltkoordinatensystem festgelegt. Jeder Punkt auf der Detektorebene bzw. dem Chip entspricht daher einem Abbildungsstrahl. Mathematisch ist dieser Abbildungsstrahl durch die nachfolgenden Gleichungen beschreibbar:

$$x_w = \frac{((r_2 r_9 - r_3 r_8) y_u + (r_6 r_8 - r_5 r_9) x_u - cr_2 r_6 + cr_3 r_5) z_w}{((r_1 r_8 - r_2 r_7) y_u + (r_3 r_7 - r_4 r_8) x_u - cr_1 r_5 + cr_2 r_4)} + \frac{(r_2 T_z - r_3 T_x) y_u + (r_8 T_y - r_5 T_z) x_u - cr_2 T_y + cr_3 T_x}{((r_1 r_8 - r_2 r_7) y_u + (r_3 r_7 - r_4 r_8) x_u - cr_1 r_5 + cr_2 r_4}$$

$$y_w = \frac{((r_1 r_9 - r_3 r_7) y_u + (r_6 r_7 - r_4 r_9) x_u - cr_1 r_6 + cr_3 r_4) z_w}{((r_1 r_8 - r_2 r_7) y_u + (r_3 r_7 - r_4 r_8) x_u - cr_1 r_5 + cr_2 r_4)} + \frac{(r_1 T_z - r_7 T_x) y_u + (r_7 T_y - r_4 T_z) x_u - cr_1 T_y + cr_4 T_x}{((r_1 r_8 - r_2 r_7) y_u + (r_3 r_7 - r_4 r_8) x_u - cr_1 r_5 + cr_2 r_4}$$

Erst der Schnittpunkt dieses Abbildungsstrahls mit der Laserebene bestimmt eine Höhenkoordinate. Der Schnittpunkt läßt sich mit Hilfe der nachstehenden Gleichung berechnen:

$$\begin{pmatrix} x_a \\ y_a \\ z_a \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{w1} \\ y_{w1} \\ z_{w1} \end{pmatrix} + t \begin{pmatrix} x_{w2} - x_{w1} \\ y_{w2} - y_{w1} \\ z_{w2} - z_{w1} \end{pmatrix}$$

$$t = \frac{-(a_l x_{w1} + b_l y_{w1} + c_l z_{w1} + d_l)}{a_l(x_{w2} - x_{w1}) + b_l(y_{w2} - y_{w1}) + c_l(z_{w2} - z_{w1})}$$

Die Parameter mit dem Index L bestimmen die Laserebene. Um den obenstehenden Formalismus zu vereinfachen wurden zunächst zwei beliebige Werte für z_w eingesetzt, so daß man zwei Punkte auf dem Abbildungsstrahl erhält, die eine Gerade bestimmen. Der Parameter t bestimmt dabei den Schnittpunkt der Laserebene mit dem Abbildungsstrahl.

Zur Darstellung der 3-dimensionalen Raumform der gesamten Brillenfassungsnut ist es jedoch erforderlich alle ermittelten Konturschnittlinien zusammenzusetzen.

Bekannt sind nun die Meßreihen der einzelnen Konturpunkte P_1 , P_2 und P_3 , die Lage der Drehachse im Weltkoordinatensystem sowie der jeweilige Rotationswinkel von z. B. $0,1^\circ$. Es wird festgelegt, daß sich das erste Meßpunkttripler bei 0° befindet. Jedes folgende Tripler wird um $0,1^\circ$ weiter verdreht:

$$\begin{aligned} x_{kw} &= x_w \cos \beta - y_w \sin \beta \\ y_{kw} &= -x_w \sin \beta + y_w \cos \beta \\ z_{kw} &= z_w \\ \beta &= 0^\circ, 0,1^\circ, 0,2^\circ, \dots, 360^\circ. \end{aligned}$$

Die so gewonnenen Meßwerte werden als Ergebnisse der Innenkonturvermessung abgespeichert und ergeben die 3-dimensionale Raumform der Brillenfassungsnut, wie in einer 3-D-Graphik gemäß Fig. 7 durch drei Raumkurven dargestellt ist.

Bezugszeichenliste

- 1 Lichtquelle
- 2 Detektoreinheit
- 3 Haltevorrichtung, Drehtisch
- 4 Brillenfassung
- 5 Fixiervorrichtung
- 6 Lichtstrahl
- 7 Umlenkensystem
- 8 Brillenfassungsnut
- 9 Abbildungssystem
- L Laserquelle
- M Meßobjekt

Patentansprüche

1. Meßanordnung zum berührungslosen Erfassen der 3-dimensionalen Raumform einer, in einer Brillenfassung umlaufenden Nut mit einer Lichtquelle, deren Lichtstrahl auf die Nut gerichtet ist oder auf diese mittels eines optischen Umlenkensystems

- ablenkbar ist,
 einem optischen Abbildungssystem, das das an der Nut reflektierte Licht auf eine optische Detektoreinheit abbildet und weitgehend zentrisch zu der zu vermessenden Nut der Brillenfassung angeordnet ist,
 einer die Brillenfassung tragenden Haltevorrichtung, die relativ zu der Lichtquelle, der Detektoranordnung sowie dem optischen Abbildungssystem um eine Zentrierachse einer, von der umlaufenden Nut der Brillenfassung einbeschriebenen Fläche drehbar gelagert ist sowie
 einer Auswerteeinheit zur Ermittlung der 3-dimensionalen Raumform der Nut, die nach dem Lichtschnittverfahren arbeitet.
2. Meßanordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtquelle ein Laser ist, dessen Strahlung weitgehend senkrecht zum Nutboden gerichtet ist und die Nut mit einer linienförmigen Strahlform beleuchtet ist.
 3. Meßanordnung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das optische Umlenk- und das optische Abbildungssystem als eine Einheit ausgebildet sind.
 4. Meßanordnung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Einheit ein 90°-Umlenkprisma oder ein Spiegel ist.
 5. Meßanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtquelle und die Detektoreinheit nebeneinander angeordnet sind und der Lichtstrahl der Lichtquelle weitgehend senkrecht auf die von der umlaufenden Nut der Brillenfassung einbeschriebenen Fläche gerichtet ist und von der optischen Umlenkeinheit auf die Nut ablenkbar ist.
 6. Meßanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die optische Umlenkeinheit derart orientiert ist, daß der Lichtstrahl schräg auf die Nut, vorzugsweise unter einem Winkel von 45° auftrifft.
 7. Meßanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Haltevorrichtung ein Drehtisch ist.
 8. Meßanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß das optische Abbildungssystem in der Ebene der von der umlaufenden Nut der Brillenfassung einbeschriebenen Fläche angeordnet ist und relativ zur drehbeweglichen Brillenfassung ruht.
 9. Meßanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Haltevorrichtung eine Justier- und Ausrichtungsvorrichtung vorsieht, so daß die Brillenfassung relativ zum optischen Abbildungssystem derart ausrichtbar ist, daß das Abbildungssystem relativ zur umlaufenden Nut weitgehend zentriert ist.
 10. Meßanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Detektoreinheit eine CCD-Meßkamera ist.
 11. Meßanordnung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die CCD-Meßkamera eine Matrixkamera ist, die in Zeilen und Spalten angeordnetes Lichtsensoren aufweist.
 12. Meßanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Haltevorrichtung relativ zur Lichtquelle, optischen Abbildungseinheit sowie zur Detektoreinheit taktweise jeweils um einen definierten Winkel verdrehbar ist.
 13. Meßanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Auswerteeinheit zu jeder Stellung der Brillenfassung relativ zum Lichtstrahl den Drehwinkel der Haltevorrichtung erfaßt und das an der Nut reflektierte Licht für jede Verdrehstellung auswertet.
 14. Meßanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Haltevorrichtung oder die optische Umlenk- und Abbildungseinheit senkrecht zu der, durch den Nutverlauf einbeschriebenen Fläche verfahrbar ist.
 15. Meßanordnung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß eine Sensoreinrichtung vorgesehen ist, die die horizontale Ausrichtung zwischen dem auf die Nut gerichteten Lichtstrahl und der Nut erfaßt; und daß eine Regelungsvorrichtung vorgesehen ist, die den auf die Nut gerichteten Lichtstrahl relativ zur Nut ausrichtet.
 16. Verfahren zum berührungslosen Erfassen der 3-dimensionalen Raumform einer, in einer Brillenfassung umlaufenden Nut, die zwei parallel verlaufende Nutkanten sowie einen Nutboden aufweist, gekennzeichnet durch folgende Verfahrensschritte:
 - Beleuchten der Nut mit einem weitgehend linienförmigen Strahlungsfeld,
 - Detektieren der an der Nut reflektierten Strahlung mit einer ortsauflösenden Detektoreinheit.
 - Erfassen der räumlichen Lage von Bereichen auf der Detektoreinheit, die jeweils dem Abbild der Nutkanten sowie dem Nutboden entsprechen,
 - Ermitteln der Raumkoordinaten beider Nutkanten sowie dem Nutboden unter Zugrundelegen des Lichtschnittverfahrens,
 - Regression einer Polynomkurve zur Darstellung eines Schnittprofils der Nut im beleuchteten linienförmigen Bereich,
 - Schrittweises Verfahren des linienförmigen Strahlungsfeldes relativ zur Nut bis weitgehend alle Bereiche der Nut in der vorstehenden Weise erfaßt sind,
 - Zusammenführen aller ermittelten Schnittprofile zu einer 3-dimensionalen Raumform der Nut.
 17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die relative räumliche Lage zwischen Detektoreinheit und Lichtquelle bestimmt wird, so daß ein vorgegebener Triangulationswinkel γ von einem auf die Nut eintreffenden Lichtstrahl sowie einem an der Nut reflektierten Lichtstrahl einbeschrieben wird.
 18. Verfahren nach Anspruch 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, daß zur Ermittlung der Raumkoordinaten der Nutkanten sowie Nutboden das Abbild eines Lichtschnittes durch die Nut auf der Detektoreinheit bestimmt wird, für das nach dem Lichtschnittverfahren folgender Zusammenhang gilt:

$$\Delta x = \frac{b}{z} \sin \gamma \cdot \Delta z$$

mit:

Δx relativer Abstand zweier Nutpunkte in der Detektorebene
 Δz relativer Abstand zweier Nutpunkte auf der realen Nutkontur
 b/z Abbildungsmaßstab
 z Objektstand zwischen Lichtquelle und Nut
 γ Triangulationswinkel.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 16 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß das von der ortsauflösenden Detektoreinheit aufgenommene Abbild des von dem linienförmigen Strahlungsfeld beleuchteten Nutabschnittes derart zeilenweise ausgewertet wird, daß jede Detektorzeile nach Intensitätsflanken durchsucht wird.

20. Verfahren nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß bei zwei in einer Detektorzeile aufgefundenen Intensitätsflanken $Fl_1(z)$ und $Fl_2(z)$ ein Mittelwert F_M nach folgender Beziehung gebildet wird:

$$F_M = \frac{k_{M1} Fl_1(z) + k_{M2} Fl_2(z)}{2}$$

mit:

k_{M1}, k_{M2} materialspezifische, vom Reflexions- und Absorptionsgrad abhängige Faktoren; $k_{M1} \approx 1$ und $k_{M2} \approx 1$ bei metallischen Brillenfassungen, $k_{M1} \approx 2$ und $k_{M2} \approx 0$ bei Kunststoffbrillenfassungen.

21. Verfahren nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß aus allen Mittelwerten F_M eines Schnittprofils der Nut jeweils die Mittelwerte ausgewählt werden, die den beiden sich gegenüberliegenden Nutkanten sowie dem Nutboden entsprechen.

22. Verfahren nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß die auf die Detektorebene bezogenen Koordinaten der Abbilder der Nutkanten und des Nutbodens mittels Koordinatentransformation unter Berücksichtigung von Verzerrungen bedingt durch herstellungsbedingte Detektorabweichungen in 3-dimensionale Raumkoordinaten umgerechnet werden.

23. Verfahren nach einem der Ansprüche 16 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß zu den ermittelten Raumkoordinaten der beiden Nutkanten sowie dem Nutboden eine Polynomfunktion vierten Grades regressiert wird.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

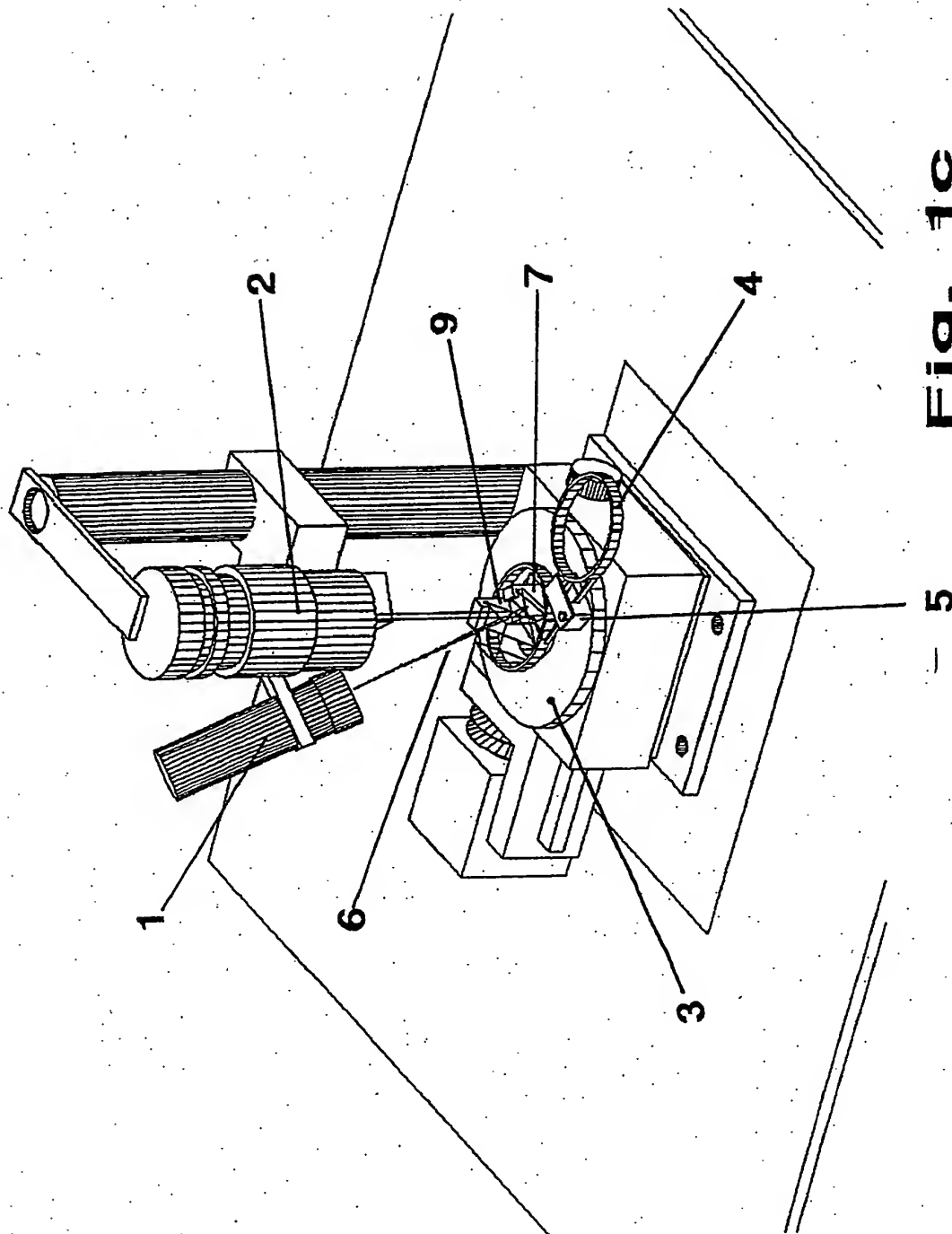


Fig. 10

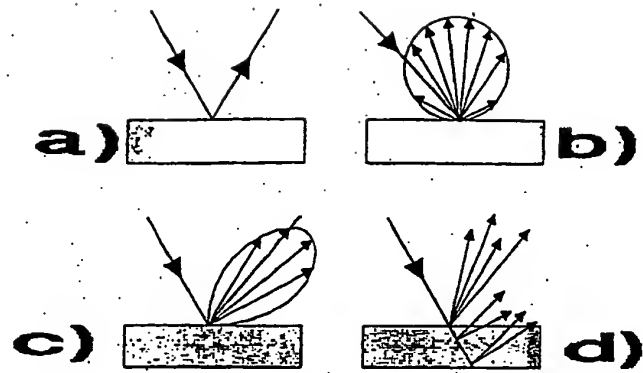


Fig. 4

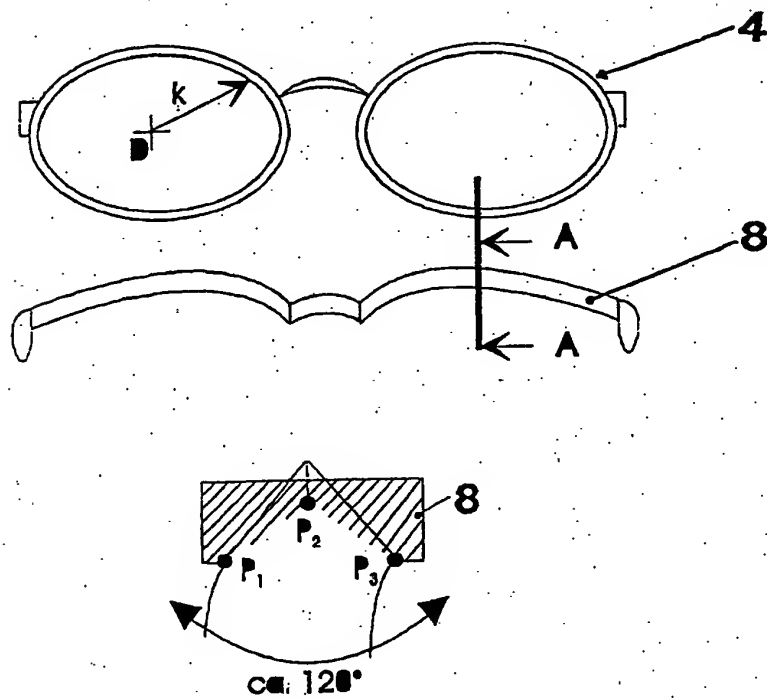


Fig. 5

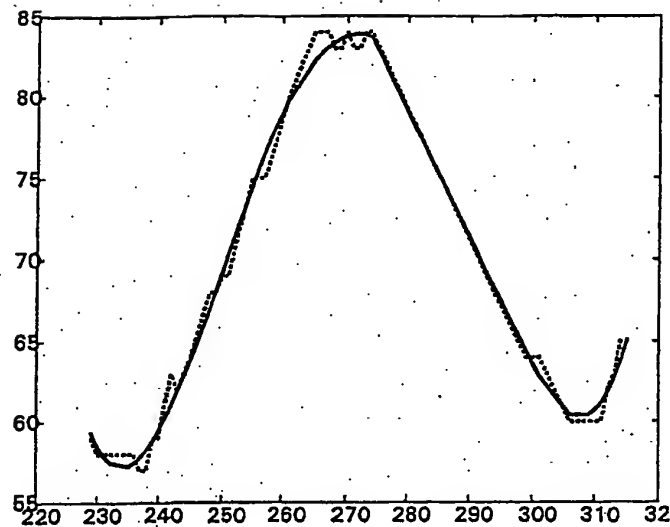


Fig. 6

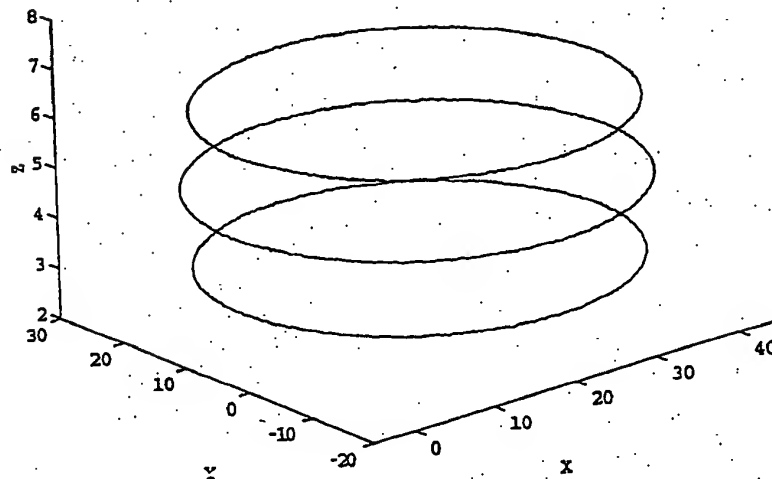


Fig. 7

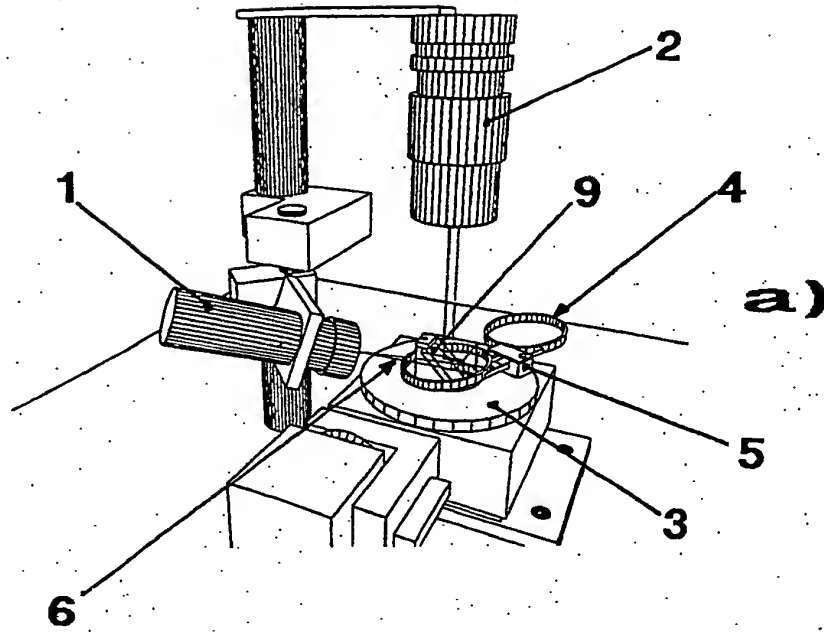


Fig. 1

